BEOBACHTUNGEN

AN

KANALSTRAHLEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

VERFASST UND DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

KGL. BAYER. JULIUS-MAXIMILIANS-UNIVERSITÄT WÜRZBURG

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

VORGELEGT

VON

HANS RAU

AUS

WÜRZBURG.

ACAD.
MED. BAC.

WÜRZBURG.

KGL. UNIVERSITÄTSDRUCKEREI VON H. STÜRTZ.

1906.

Die vorliegende Arbeit habe ich auf Veranlassung von Herrn Professor Dr. W. Wien im physikalischen Institut der Universität Würzburg unternommen und vom Winter 1904 bis zum Sommersemester 1906 ausgearbeitet, nachdem ich schon vorher für eine zur bayerischen Lehramtsprüfung für Mathematik eingereichte Abhandlung einige Versuche durchgeführt hatte.

Es sei mir gestattet, Herrn Professor Dr. Wien für seine stete überaus lebhafte Anteilnahme und reiche Anregung meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507204_0170

Beobachtungen an Kanalstrahlen.

Der erste Teil der im folgenden beschriebenen Versuche bezieht sich auf die von den Kanalstrahlen hervorgerufene Fluoreszenz, insbesondere auf das bei ihrem Auftreffen auf Glas entstehende Leuchten. Der zweite Abschnitt berichtet über den Versuch einer Bestimmung des Wertes der spezifischen Ladung der Kanalstrahlenteilchen in Helium. Schliesslich sind unter III einige im Anschluss an die Entdeckung des Dopplereffektes der Kanalstrahlen [1]) gemachte Beobachtungen zusammengestellt.

I.

Treffen Kanalstrahlen auf gewöhnliches Röhrenglas, so entsteht [2]) ein zweifaches Leuchten an demselben: eine grüne Fluoreszenz des Glases selbst und eine rotbraune, im Spektralapparat die D-Linien des Natriums zeigende Lichthaut über der getroffenen Fläche. Von Herrn W. Wien war gefunden worden [3]), dass in Wasserstoff nach langem Durchgang der Entladung unter fortgesetzter Erneuerung der Gasfüllung nur noch die grüne Fluoreszenz, in Sauerstoff dagegen, besonders bei scharfer Trocknung, fast nur das Natrium-Leuchten auftritt, was sich auch bei meinen Versuchen wieder zeigte. Die erstere Tatsache widerspricht der naheliegenden Annahme, dass das Na-Leuchten die Folge einer durch den Aufprall der Kanalstrahlenteilchen erzeugten (lokalen) Temperaturerhöhung sei; dagegen lassen beide Beobachtungen die Mög-

1) J. Stark, Phys. Zeitschr. 6, 892 (1905).
2) E. Goldstein, Verh. d. deutsch. phys. Ges. 4, 4; 1902.
3) W. Wien, Ann. d. Phys. 8, 252 ff., 1902.

lichkeit zu, dass es eine Begleiterscheinung eines chemischen Vorgangs ist, der bedingt erscheinen würde durch die Natur der Gasfüllung.

Um nun zu prüfen, ob es sich um eine spezifische Wirkung des Sauerstoffs handelt, nahm ich zunächst Stickstoff als Gasinhalt. Da es für den Versuch auf möglichste Reinheit des Gases ankam, sei zunächst seine Darstellung beschrieben: Auf den mit einem ca. $1^1/_2$ m langen eingeschliffenen Sicherheitsrohr versehenen Entwicklungskolben folgten (unter Zwischenschaltung eines mit Quecksilber gedichteten Hahnes) Waschflaschen, die der Reihe nach Kaliumpermanganatlösung, Ferrosulfat (mit überschüssigen Kristallen), Kalilauge, Schwefelsäure enthielten; es schlossen sich an ein

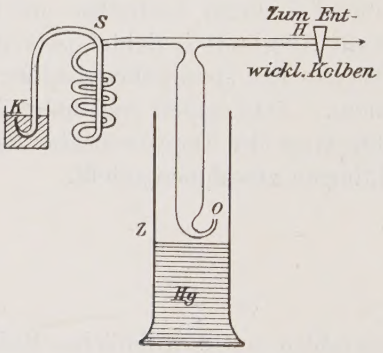

Fig. 1.

Rohr mit durch Schwefelsäure befeuchteten Glasperlen (1 m lang), ein ebensolches mit Phosphorpentoxyd, ein Verbrennungsrohr mit 3 reduzierten und einer kräftig oxydierten Kupferspirale (die Schliffe am Verbrennungsrohr mit Phosphorsäure gedichtet und mit Siegellack überzogen, so dass hier wie im ganzen Apparat Schlauchverbindungen, Fett- und Siegellackdichtungen vermieden waren); es folgte ein Rohr mit P_2O_5, dann, durch einen Quecksilberhahn vom übrigen Apparat abschliessbar, der Gasbehälter (Fig. 1).

Während des mehrstündigen Vorspülens mit Stickstoff strömte das Gas gleichzeitig durch die Oeffnung O und die Kapillare K durch eine Quecksilberschicht hindurch aus; durch Hochheben des Standzylinders Z bei geschlossenem Hahn H wurde von Zeit zu Zeit alles Gas aus dem Gasometer verdrängt. Dieselbe Operation diente dann dazu, um (unter Abkühlung der Kühlschlange S mit Kohlen-

säure-Äther-Kältemischung zur Erzielung vollständiger Trocknung) das Gas in kleinen Blasen durch ein über K gestülptes Barometerrohr ins Vakuum einzuführen. Entwickelt wurde der Stickstoff aus Ammoniumnitrat in der gebräuchlichen Weise. Die Entwicklungsflüssigkeit [1]) konnte durch das bis auf den Boden des Kolbens reichende Sicherheitsrohr ohne Eindringen von Luft eingefüllt und, wenn nahezu erschöpft, durch den Druck des entwickelten Gases durch ein seitliches Ansatzrohr teilweise hinausgepresst werden. Das Wasser zu den Lösungen war doppelt destilliert und im Vakuum ausgekocht, die Chemikalien als »reinst« von Merk bezogen. Die Füllung der Röhre (Fig. 2) wurde möglichst sorgfältig vorgenom-

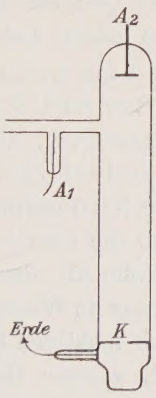

Fig. 2.

A_1 = Alumin. Anode (Draht); A_2 = Alum. Anode (Scheibe); K = Alum. Kathode mit einem durch fein maschiges Alum. Drahtnetz bedeckten ca. 1 cm weiten Loch in der Mitte.

men, also oftmals wiederholt unter Heizen und Hindurchschicken starker Entladungen.

Es ergab sich schliesslich, als die Röhre etwa 14 Tage in dieser Weise behandelt worden war und das Stickstoffspektrum, von Hg-Linien abgesehen [2]), rein erschien, dass das Natriumleuchten

---

1) Gleiche Gewichtsteile Kaliumnitrit, Ammoniumnitrat und Kaliumbichromat in einer Wassermenge vom 3fachen Gewicht der Salze.

2) Das vollständige Fernhalten des Quecksilberdampfes bei solchen über Wochen sich erstreckenden Versuchen ist mir nicht gelungen. Ich benützte zuerst Schwefel; doch gelangte selbst durch eine 1 m lange Schicht schon nach wenigen Tagen Hg-Dampf hindurch. Eine Anordnung von Crookes — Jodschwefel zwischen Schwefelschichten — erwies sich wegen der bald erfolgenden Diffusion von Joddampf durch den Schwefel als unbrauchbar. Ich verwandte

in derselben Stärke vorhanden war wie in Luft. Auch als durch mehrstündiges Abkühlen einer zwischen Pumpe und Entladungsrohr unmittelbar vor dem letzteren befindlichen Kugel auf — 80° die Helligkeit der Hg-Linien bedeutend vermindert war, zeigte sich keine Aenderung. Um der Sauerstoff-Freiheit des Gases ganz sicher zu sein, führte ich noch durch ein in Natriumamalgam tauchendes zweites Entladungsrohr Natrium elektrolytisch ein. (Stromquelle war eine Hochspannungsmaschine; der Natriumdampf wurde durch Blattgold und Abkühlung der erwähnten Kugel vom Beobachtungsrohr ferngehalten.) Das nach den Versuchen von H. Warburg die Sauerstoff-Freiheit kennzeichnende Leuchten trat sofort auf, doch wurde die Entwicklung des Na vier Stunden fortgesetzt. Aber auch nun war keine Veränderung des gelben Leuchtens wahrzunehmen.

Ein Oxydationsvorgang kann also nicht die Vorbedingung des Leuchtens sein. Nun tritt aber nach Zehnder[1]) in Stickstoff an der Kathode von Entladungsröhren, also gerade da, wo Kanalstrahlen auftreffen, auch eine chemische Reaktion mit vorhandenem Natrium ein — die Bildung von Natriumstickstoff. Es erschien daher, um darüber klar zu werden, ob die chemische Natur des Gasinhaltes der Röhre wirklich eine Rolle für das Auftreten des Na-Lichtes spielt (wie es die Beobachtung in Wasserstoff nahelegt), nötig, den Versuch mit einem chemisch inaktiven Gas zu wiederholen; zudem erschien es wünschenswert, weitere Gase auf das Auftreten der grünen Fluoreszenz hin zu untersuchen, die im Stickstoff nur äusserst schwach zu sehen war. Ich wählte daher zu einem weiteren Versuch Helium.

Zur Entwicklung und zum Reinigen dieses Gases diente schliesslich folgende Anordnung (Fig. 3).

A ist das Sammelgefäss für das reine Gas, durch Quecksilberbarometerverschlüsse h_1 und h_2 vom übrigen Apparat abschliessbar und mit diesem auf einem Brett montiert. Das Gas kann also wenn h_1 und h_2 durch Senken der Hebegefässe H_2 und H_3 offen

---

dann (bei dem Versuch in Stickstoff) Blattgold in Verbindung mit Abkühlung einer vor der Röhre befindlichen Kugel mit Kohlensäure-Äther-Gemisch zur Kondensation des Hg-Dampfes, bin aber schliesslich doch zu Schwefel als relativ bestem Mittel zurückgekehrt. Der Schwefel wurde während des Auspumpens mindestens einen Tag lang durch siedendes Wasser erhitzt, ebenso die nach beiden Seiten hin vorgelegten Kupfer„spiralen“ (meist je fünf) auf 300°, bis kein Gas mehr abgegeben wurde.

[1]) Wied. Ann. 52, 56; 1894.

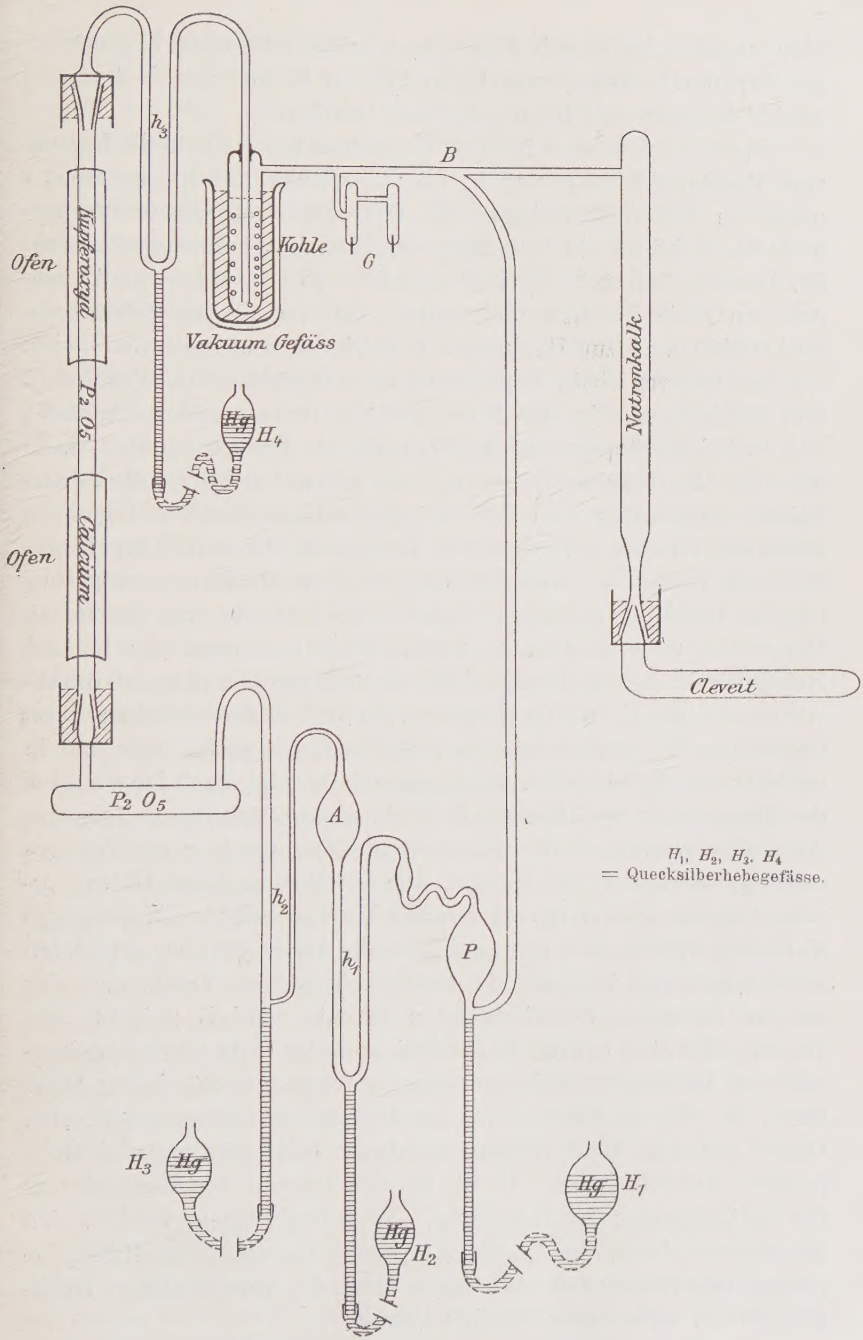
Ofen
Kupferoxyd
h_3
B
Kohle
G
Vakuum Gefäss
Natronkalk
Hg
H_4
$P_2 O_5$
Ofen
Calcium
Cleveit
$P_2 O_5$
A
h_2
h_1
P
H_1, H_2, H_3, H_4
= Quecksilberhebegefässe.
H_3
Hg
H_2
H_1

Fig. 3.

sind, ungehindert durch A passieren, andrerseits wenn h_1 geschlossen ist, durch Heben von H_2 in kleinen Blasen aus A durch h_2 (rechts Kapillarrohr) hinausgetrieben werden.

(An h_2 schloss sich bei den Versuchen mit Helium die Leitung zum Entladungsrohr.) Auf h_2 folgt ein Rohr mit Phosphorpentoxyd, an dessen Fortsetzung mit Hilfe eines mit Quecksilber gedichteten Schliffes ein 2 m langes Verbrennungsrohr angeschlossen ist. Dasselbe befindet sich auf eine Länge von je 60 cm am Anfang und am Ende in Öfen und enthält hier metalliches Calcium (in Nickelschiffchen) zur Bindung von Stickstoff und Sauerstoff bezw. auf der anderen Seite Kupferoxyd zur Oxydation von Wasserstoff und Kohlenoxyd. In der Mitte des Verbrennungsrohres befindet sich zwischen Stopfen aus Kupferdrahtnetz Phosphorpentoxyd, so dass von dem Calcium bezw. von dem gebildeten Nitrür alle Feuchtigkeit ferngehalten war. Ein auf das Verbrennungsrohr folgender Barometerverschluss h_3 gestattete, das gesamte Helium in dem Raum zwischen h_2 und h_3 einzuschliessen und so im Verbrennungsrohr höheren Druck zu erzeugen ($^3/_4$ Atm.), als sonst bei der gegebenen Menge Gas möglich gewesen wäre. Nach h_3 musste das bei der Reinigung in der Richtung dieser Aufzählung den Apparat durchströmende Gas ein Gefäss passieren, das mit kleinen Stücken durch Glühen von Kokosnussschale hergestellter Kohle gefüllt war und in ein Vakuumgefäss tauchte. Kokosnussschale zeigt nach Dewar bei der Temperatur der flüssigen Luft ein ausserordentlich gesteigertes Absorptionsvermögen für die meisten Gase, weniger für Wasserstoff, am wenigsten für Helium. Die Einführung dieses Rohres erwies sich als notwendig, da das Kohlenoxyd mit dem Kupferoxyd nicht wegzubekommen war und auch die Absorption der gebildeten Kohlensäure mit Aetzkali oder Natronkalk bei der Trockenheit des ganzen Gasraumes Schwierigkeiten machte. Bei B mündet eine Leitung, die über ein mit Natronkalk gefülltes Rohr zu einem ebenfalls mit Quecksilberschliff angefügten schwer schmelzbaren Rohr führt, die den zur Entwicklung des Heliums dienenden gepulverten Cleveit enthielt. Diese Leitung wurde nach Entwicklung des Roheliums abgeschmolzen. G ist ein Geisslerrohr zur Beobachtung des Fortschreitens der Reinigung. Das Röhrensystem wird in sich geschlossen durch die Quecksilberpumpe P, mit deren Hilfe eine andauernde Zirkulation des Gases über die verschiedenen Reinigungsmittel unterhalten werden konnte.

Vor der Entwicklung des Heliums wurde das ganze System

auf möglichst hohes Vakuum gebracht (mit Hilfe einer zweiten Quecksilberpumpe, die durch einen Barometerverschluss abgeschaltet werden konnte); dann wurde unter andauerndem Wegpumpen des freiwerdenden Gases (besonders H und CO) zunächst das Calcium auf eine höhere Temperatur als die später zu verwendende erhitzt, danach ebenso das Kupferoxyd. Die Kohle wurde unter fortwährendem Pumpen solange auf 320° gehalten, bis sie nur noch ganz wenig Gas abgab. (Bei Abkühlung auf 300° zeigte sich dann schon starke Absorption.) Nachdem schliesslich noch die Elektroden des Geislerrohres durch Hindurchschicken von Entladung gereinigt und der Cleveit zur Beseitigung anhaftender Gase und Feuchtigkeit mässig erwärmt worden waren, wurde das Helium durch stärkeres Erhitzen entwickelt, nach A gepumpt und die Seitenleitung vor B abgeschmolzen. Darauf wurde das Gas so lange durch den Apparat geleitet, bis das Spektrum rein erschien. Es gelang jedoch trotz tagelangen Überleitens nicht, die Wasserstofflinien zum Verschwinden zu bringen. Unabsorbiert blieben wohl auch die spektral nicht sichtbaren, aber nach den Versuchen von Ramsay stets vorhandenen Beimengungen von Argon und Krypton, die auch von der Kohle nur wenig gebunden werden; doch war die Anwesenheit weiterer inaktiver Gase für den Versuch ja belanglos.

Mit dem so dargestellten Gas wurde nun ein Kanalstrahlenrohr in der beim Stickstoffversuch angegebenen Weise gefüllt. Die Beobachtung ergab Anwesenheit des Na-Leuchtens bei gleichzeitigem Vorhandensein ziemlich kräftiger grüner Glasfluoreszenz. Elektrolytische Einführung von Natrium änderte daran nichts. Die D-Linien waren dauernd zu sehen, allerdings schliesslich nach sehr langem Betrieb des Rohres nur äusserst schwach[1]). Wenn es auch nun noch nicht ausgeschlossen ist, dass das Natriumleuchten mit einem chemischen Vorgang verknüpft ist, so scheint mir das angeführte Resultat doch zu beweisen, dass keine Reaktion in Betracht kommt, bei der das Gas als reagierender Stoff beteiligt wäre. Es folgt weiter daraus, dass das Verschwinden der D-Linien in Wasserstoff die Folge eines sekundären Vorgangs sein muss.

1) In Wasserstoff und Helium ist bei nicht zu grosser Entfernung der von den Kanalstrahlen getroffenen Fläche von der Kathode auf dem Glase eine dickere Lichthaut sichtbar, die mit dem Natriumleuchten nichts zu tun hat; sie zeigt dieselbe Farbe wie die sogenannte „leuchtende Kathodenschicht“ und verdankt vielleicht reflektierten Kanalstrahlen ihre Entstehung.

Dieser Schluss findet eine Bestätigung in der Beobachtung, dass die Glaswand, wenn sie vorher Kathodenstrahlen ausgesetzt war, anfangs unter Kanalstrahlen kein Na-Leuchten zeigt. Dies zeigte sich bei folgender Anordnung (in Stickstoff): Über das feine Aluminiumdrahtnetz der Kathode des Entladungsrohres (Fig. 2) war ein Kreuz aus stärkerem Draht gespannt. Wurde nun K als Anode und A als Kathode genommen, so wurden von der Glaswand G hinter K durch das Kreuz die Kathodenstrahlen teilweise abgeschirmt. Wurde die Stromrichtung umgekehrt, so zeigte sich auf G ein gelbrotes Kreuz auf dunklem Grunde, und erst allmählich stellte sich das Leuchten auf der ganzen, nun von den Kanalstrahlen getroffenen Fläche wieder her. Es ist dies wohl zu erklären mit einer mit der grünen Kathodenstrahlfluoreszenz oder mit deren Ursache verbundenen chemischen Veränderung der Glasoberfläche. Nun rufen die Kanalstrahlen in Wasserstoff eine offenbar der von den Kathodenstrahlen erzeugten ganz analoge Fluoreszenz hervor[1]); es scheint mir daher jene Beobachtung eine plausible Erklärung des Fehlens bezw. der Lichtschwäche der D-Linien in Wasserstoff und Helium zu bilden und den Widerspruch zwischen der Annahme eines Leuchtens des Glases infolge lokal hoher Temperatur und der Erscheinung in diesen Gasen zu beseitigen.

II.

Ein Kanalstrahlenbündel wird bekanntlich im Magnetfeld nicht als Ganzes abgelenkt, sondern zu einem fächerförmigen Streifen auseinander gezogen. Eine Erklärungsmöglichkeit für das Auftreten sehr wenig ablenkbarer Teilchen ist die Bildung von Molekülkomplexen[2]); denselben würden nach den Beobachtungen von Herrn W. Wien Molekulargewichte bis ungefähr 650 zuzuschreiben sein. Es schien daher von Interesse, die magnetische Ablenkung der Kanalstrahlen in einem Gas zu beobachten, in welchem die Bildung solcher Komplexe wenigstens aus den Molekülen des Gases selbst möglichst ausgeschlossen erschien. Als besonders geeignet hierfür

---

[1]) Auch bei Fensterglas und Quarz habe ich diese nahe Gleichheit der Kathoden- und Kanalstrahlenfluoreszenz in Wasserstoff beobachtet (in beiden Fällen blau).

[2]) W. Wien, Ann. d. Phys. 13, 669 (1904).

erscheinen die inaktiven Gase, also auch Helium, zumal dem Werte von $\frac{e}{m}$ in diesem Gase im Hinblick auf die Natur der den Kanalstrahlen entsprechenden α-Strahlen des Radiums ein besonderes Interesse zukommt. Ich habe daher eine Bestimmung von $\frac{e}{m}$ im

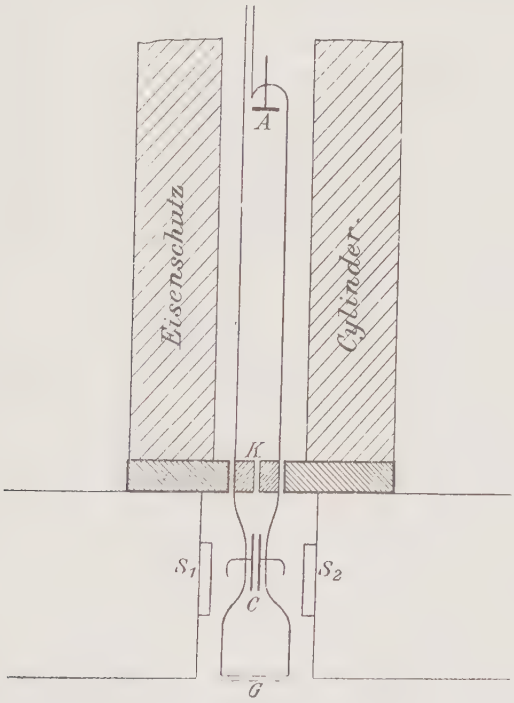

Fig. 4.

A = Anode; K = vernickelte Eisenkathode mit 2 mm Durchbohrung, mit den Schutzzylindern zusammen geerdet; C = Kondensator zur elektrostatischen Ablenkung (parallele Aluminiumblechstreifen); G = an dem ebenen Röhrenboden befestigte Glasplatte mit 2 mm Netzteilung; S_1 u. S_2 = Magnetpole.

Helium unternommen, leider aber trotz zweimaliger Durchführung derselben bis jetzt keine endgültigen Resultate erhalten.

Die Versuchsordnung war genau die von Herrn W. Wien angegebene: $\frac{e}{m}$ konnte aus der magnetischen Ablenkung und einer dazu senkrechten elektrostatischen [1]) bezw. der Elektrodenspannung

1) W. Kaufmann, Ges. der Wiss. Göttingen 1901.

bestimmt werden. Sie findet sich ausführlich beschrieben bei W. Wien, Ann. d. Phys., 5,422 (1901) bezw. 8,262 (1902), so dass hier ihre Skizzierung in Fig. 4 genüge, die genau der Anordnung bei der ersten Versuchsreihe in Helium entspricht.

Bei der Wiederholung der Messung war die vernickelte Eisenkathode, deren im Helium sehr starke Zerstäubung sich als sehr störend erwiesen hatte, mit Aluminiumblech überzogen, die 2 mm weite Bohrung derselben noch mit Aluminiumdrahtnetz bedeckt. Auch war die Netzteilung zur Bestimmung der Grösse der Ablenkungen nicht mehr aussen am Röhrenboden angebracht, sondern auf einer Glasplatte eingeritzt im Innern des Rohres auf einer geerdeten Metallunterlage befestigt. Die Röhre enthielt hinter der Glasplatte noch einen Auffangzylinder zum Messen der Kanalstrahlenstromstärke; doch kommt dies für die mitzuteilenden Beobachtungen nicht in Betracht.

Die zur Berechnung der spezifischen Ladung $\sigma \left(= \frac{e}{m}\right)$ dienenden Formeln seien hier zusammengestellt: Die Ablenkung durch das elektrostatische Feld ist, wenn die Strahlen in demselben den Weg x_e, nach dem Austritt bis zur Auffangplatte noch den Weg b zurückgelegt haben und wenn v_0 die Geschwindigkeit der Teilchen, V_1 die Potentialdifferenz der beiden Aluminiumstreifen, l ihre Entfernung voneinander bedeutet:

$$y_e = \frac{V_1}{l} \frac{x_e^2 + 2\,b\,x_e}{2\,v_0^2} \cdot \sigma.$$

Die darauf senkrechte magnetische Ablenkung auf der Strecke x_m ist unter der Voraussetzung eines homogenen Feldes von der Stärke $\mathfrak{H}$.

$y_m = \frac{1}{2} \frac{x_m^2}{v_0} \mathfrak{H} \cdot \sigma$. Dazu kommt die Beziehung von σ und v zu der Elektrodenspannung V oder genauer zum Kathodenfall (als der Spannungsdifferenz, welcher die Kanalstrahlenteilchen ihre Geschwingigkeit verdanken):

$$\frac{1}{2} m\, v_0^2 = eV \text{ oder } v_0^2 = 2\,\sigma V.$$

Ich war im wesentlichen auf die Benützung der beiden letzten Beziehungen angewiesen; denn von der elektrostatischen Ablenkung waren infolge der beim Anlegen der Potentialdifferenz auftretenden Entladung (die im Helium in höherem Masse auftritt als z. B. im

Wasserstoff) brauchbare Resultate nicht zu erwarten. Erzeugt wurde die nötige Potentialdifferenz durch Abzweigen von einer Leitung mit 550 Volt Spannungsabfall, deren geerdeter Pol stets mit der einen oder anderen der beiden Kondensatorplatten verbunden war. Zur Messung von V_1 diente ein Doleczalekscheres Elektrometer, das mit Hilfe eines bis zu 500 Volt zeigenden Hitzdrahtinstrumentes geeicht wurde. — Die Elektrodenspannung wurde mit einer zum Entladungsrohr parallel geschalteten Funkenstrecke mit Kugeln von 3 cm Radius gemessen. Stromquelle war eine 20plattige Leunersche Influenzmaschine. Bei der Bestimmung der magnetischen Feldstärke wurde zur möglichsten Elimination der bei dem grossen Polabstand von 63 mm natürlich sehr grossen Inhomogenität des Feldes folgendes Verfahren angewandt: Es wurden die für die Kanalstrahlen benützten Ablenkungen nach Kommutieren des Röhrenstromes auch für die Kathodenstrahlen hervorgebracht unter Beobachtung der Magnetstromstärke und der die Kathodenstrahlen erzeugenden Spannung. Dann ist, wenn die auf Kathodenstrahlen bezüglichen Grössen mit einem ′ versehen werden, für eine bestimmte Ablenkung: ($x_m' = x_m$).

$$y_m' = \frac{1}{2} x_m^2 \frac{\mathfrak{H}'}{v_o'} \sigma', \text{ wobei } \sigma' = 1{,}87 \cdot 10^7 \text{ el.-magn. Einheiten ist}$$

und $\mathfrak{H}'$ im inhomogenen Feld einen Mittelwert der Feldstärke bedeutet. Für Kanalstrahlen ist in derselben Röhre

$$y_m = \frac{1}{2} x_m^2 \frac{\mathfrak{H}}{v_o}, \text{ also wenn } y_m' = y_m, \quad \frac{\sigma}{\sigma'} \cdot \frac{v_o'}{v} \cdot \frac{\mathfrak{H}}{\mathfrak{H}'} = 1 \text{ oder da } \frac{v_o'^2}{v_o^2}$$

$$= \frac{2\sigma' V'}{2\sigma V} \text{ ist: } \sigma = \sigma' \left(\frac{\mathfrak{H}'}{\mathfrak{H}}\right)^2 \cdot \frac{V}{V'}.$$

Benützt man für die Kanalstrahlen statt der Spannungsmessung die der elektrostatischen Ablenkung, so ergibt sich ebenso:

$$\sigma = \frac{\sigma'}{V'} \left(\frac{\mathfrak{H}'}{\mathfrak{H}}\right)^2 \cdot \frac{V_1}{4l} \frac{x_e^2 + 2bx_e}{y_e}.$$

Nun muss unter der Voraussetzung, dass der Kraftlinienverlauf (nicht natürlich die Kraftliniendichte) in beiden Fällen derselbe ist, das Verhältnis der Mittelwerte der Feldstärken gleich dem Verhältnis der Feldstärken in irgend einem Punkt des Feldes sein. Es genügt also, an einem Punkte des Feldes eine Bestimmung von $\mathfrak{H}$ für die beiden bei Kathoden- bezw. Kanalstrahlen benützten Magnetstromstärken durchzuführen [1]).

---

1) Ohne Einführung eines Mittelwertes der Feldstärke ergibt sich dies

Diese Messung wurde durch Drehung einer kleinen Spule um 180° im Magnetfeld und Bestimmung der dabei in ihr induzierten Elektrizitätsmenge mit Hilfe des ballistischen Galvanometers durchgeführt. Zu erwähnen bleibt, dass eine weitere Voraussetzung der geschilderten Art der Feldausmessung die Gleichheit der Bahnkurve für Kanal- und Kathodenstrahlen ist.

Ich führe noch die zur Berechnung nötigen Dimensionen der Röhre an.

Es war bei der

1. Versuchsreihe $x_e = 50$ mm b $= 55$ mm,
   l $= 5{,}5$ mm [$x_m = 16$ cm],
2. Versuchsreihe $x_e = 41$ mm b $= 43$ mm,
   l $= 7$ mm [$x_m = 10$ cm].

Es zeigte sich nun, dass bei Erregung des Magnetfeldes das Strahlenbündel in einen kontinuierlichen Streifen auseinandergezogen wurde: auch im Helium sind also wenig oder gar nicht ablenkbare Strahlen vorhanden. Die eigentlichen Messungen waren bei der ersten Versuchsreihe sehr erschwert, da die Entladung infolge der starken Kathodenzerstäubung (schon beim „Reinigen" der Elektroden) ganz unregelmässig geworden war; es erscheint daher zweifelhaft ob die gegenüber weniger abgelenkten Teilen lichtschwächere äusserste Grenze des Streifens beobachtet wurde. Die Berechnung ergab Werte von σ, die zwischen 9900 und 13000 liegen; da diese Zahlen dem Wert von σ für Wasserstoff nahe kommen, mussten sie einer Verunreinigung des Heliums durch Wasserstoff, dessen Linien ja auch vorhanden waren, zugeschrieben werden. Nun ist bei Helium $\sigma = 2500$ zu erwarten; es erschien also bei der Helligkeit der anscheinend schon von Spuren Wasserstoff hervorgerufenen Fluoreszenz aussichtslos, die Grenze der Ablenkung der

Resultat aus der von Simon (Wied. Ann. 69, 592 [1899]) abgeleiteten Formel für σ im inhomogenen Feld:

$$\sigma = \frac{2\,y_m^2\,V}{\left[\int_0^{x_m} dx \int_0^{x_m} \mathfrak{H}\,dx\right]^2} \left\{ 1 - y_m^2 \cdot \frac{\int_0^{x_m} dx \left[\int_0^{x_m} \mathfrak{H}\,dx\right]^3}{\left[\int_0^{x_m} dx \int_0^{x_m} \mathfrak{H}\,dx\right]^3} \right\}, \text{ wobei } \mathfrak{H} = C.f(x), \text{ ebenso}$$

σ' und wenn der Kraftlinienverlauf derselbe wie vorher $\mathfrak{H}' = C'.f(x)$. Durch Division $\frac{\sigma}{\sigma'} = \frac{V}{V'} \cdot \frac{C'^2}{C^2} = \frac{V}{V'} \cdot \frac{\mathfrak{H}'^2}{\mathfrak{H}^2}$.

Heliumkanalstrahlen zu beobachten, so lange noch Wasserstoff zugegen war.

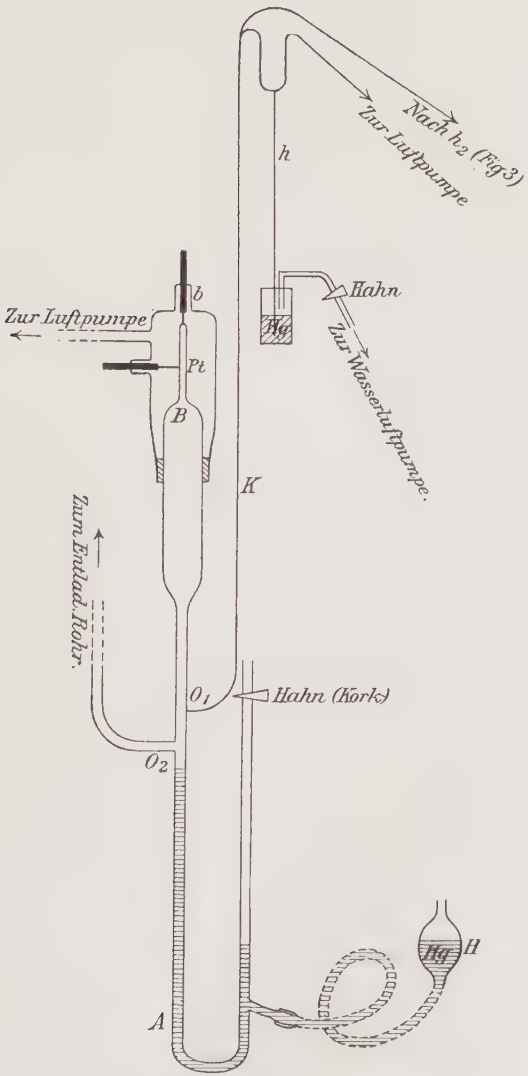

Fig. 5.

Ich versuchte daher auf Rat von Herrn Professor Wien, den Wasserstoff durch glühendes Platin herausdiffundieren zu lassen,

das nach den Versuchen von Ramsay für Helium undurchlässig ist. Die hierfür getroffene Anordnung ist in Fig. 5 gezeichnet[1].)

AB ist ein im oberen Viertel stark erweitertes Rohr von etwas mehr als doppelter Barometerhöhe; bei B ist in AB ein Platinröhrchen von ca. 12 cm Länge und $^3/_4$ mm innerer Weite, ohne nach innen hervorzustehen, eingeschmolzen, das gegen AB offen, am anderen Ende aber zugeschweisst ist. Dasselbe kann in seiner oberen Hälfte elektrisch geglüht werden. Hierzu dienen die Zuleitungen a und b, die aus 5 mm starkem Kupferdraht (am Platinröhrchen zunächst dünne Platinstifte!) bestehen und in das über AB oben mit Siegellack übergekittete Rohr V eingesiegelt sind. V steht mit der Quecksilberpumpe in Verbindung und kann durch überfliessendes Wasser gut gekühlt werden. Von AB führt — ca. 85 cm über A — bei O_1 ein Kapillarrohr K zunächst ca. 170 cm aufwärts, dann zum Barometerverschluss h_2 der Fig. 3 (also zum Heliumbehälter); das etwa 5 cm unter O_1 bei O_2 abzweigende Rohr führt ebenfalls 170 cm in die Höhe und mündet schliesslich in die Leitung von der Luftpumpe zur Entladungsröhre. Zunächst wurde nun das Platinröhrchen lange Zeit unter fortdauerndem Abpumpen der freiwerdenden Gase stark geglüht. Dann wurde, während O_2 durch Quecksilber verschlossen war, eine passende Menge Helium aus dem Sammelgefäss durch h_2 und O_1 in den oberen Teil von AB getrieben und durch Hochheben von H vollständig in das Platinröhrchen hineinkomprimiert (auf etwa $1^1/_2$ Atmosphären). Darauf wurde einen Tag lang geglüht und dabei der Raum V durch dauerndes Pumpen auf möglichst hohem Vakuum erhalten[2]). Vor dem Einbringen von Helium in das Entladungsrohr (durch rasches Öffnen und Schliessen von O_2) musste natürlich aus K alles Gas entfernt werden, was der Verschluss h ermöglichte.

Das Verfahren hatte tatsächlich den Erfolg, dass die Wasserstofflinien verschwanden, wenn sie auch, nachdem die Entladung einige Zeit gedauert, wieder (offenbar aus den Elektroden) zum Vorschein kamen. Auch jetzt zeigte sich die Glasfluoreszenz umgeändert und beim Erregen des Magnetfeldes das Ausbreiten des Bündels in einen kontinuierlichen Streifen. Die Messung ergab

[1]) Die zur Verhinderung des Aufsteigens von Luftblasen aus dem Gummischlauch in das Vakuum sehr praktische Art der Montierung des Gummischlauches ist von Herrn P. Ewers angegeben.

[2]) Das abgepumpte Gas konnte, da zwischen Pumpe und Entladungsrohr sich noch ein Barometerverschluss befand, nicht in das letztere gelangen.

folgende Werte der spezifischen Ladung (Mittelwerte aus ziemlich gut übereinstimmenden Beobachtungen bei der betreffenden Spannung):

$\frac{e}{m}$	Elektrodenspannung
27 300	6500 Volt
27 500	9600 „
27 300	9700 „
28 200	20 400 „
49 000	33 000 „

Ich schliesse gleich die Werte von $\frac{e}{m}$ an, die sich aus einer des Vergleichs halber mit derselben Röhre unmittelbar nach den Messungen im Helium mit Wasserstoff gemachten Beobachtung ergaben;

$\frac{e}{m}$	Elektrodenspannung
14 300	17 700 Volt
15 400	24 900 „
17 200	24 900 „
15 000	29 100 „
nach langem Durchgang der Entladung	
32 200	27 300[1])

Die Abweichung der Wasserstoffwerte von der richtigen Zahl 10 000 zeigt wohl die Anwesenheit einer konstanten Fehlerquelle an, über die sich aber ohne weitere Versuche nichts einigermassen Sicheres sagen lässt. Ich bemerke weiter, dass die angeführten Zahlen alle aus der Elektrodenspannung folgen, während eine Messung der infolge sekundärer Lichteffekte unsauberen elektrostatischen Ablenkung kombiniert mit der magnetischen für Helium $\frac{e}{m} = 15\,800$ ergab (wahrscheinlich Wasserstoffreste).

Die Veröffentlichung obiger Zahlen, die ja offenbar nicht die „richtigen“ sein können (der zu erwartende Wert ist $\frac{e}{m} = 2500$), mag dadurch gerechtfertigt werden, dass die Ursache der Abweichung jedenfalls von Interesse ist und ich meine Versuche nach meinem Weggange von Würzburg auf einige Zeit unterbrechen

[1]) Wohl wieder aus den Elektroden freigewordenes Helium.

muss. Von den möglichen Hypothesen führe ich eine deshalb an, weil sie durch eine weiter unten mitzuteilende Beobachtung sehr gestützt wird, dass nämlich der grösste Teil der Heliumkanalstrahlen eine weit geringere Geschwindigkeit besitzt, als der Elektrodenspannung entspricht, dass also nur ein Teil des Kathodenfalls von ihnen frei durchlaufen wird (vorausgesetzt, dass sich nicht beim Helium Kathodenfall und Elektrodenspannung überhaupt wesentlich unterscheiden). Die Krümmung der Bahn im Magnetfelde hängt ja nur vom Verhältnis der erzeugenden Spannung zur spezifischen Ladung ab. Setzt man für Wasserstoff $\frac{e}{m} = 10000$ und misst das Magnetfeld bei meinen Versuchen durch Beziehen auf diesen Wert, so würde, falls nicht noch andere Ursachen mitspielen, die Geschwindigkeit der Heliumkanalstrahlen etwa 8 mal kleiner sein als aus der Elektrodenspannung folgt. Unklar bleibt warum sich dies bei der elektrostatischen Ablenkung nicht zeigt; doch war deren Beobachtung, wie erwähnt, so erschwert, dass hier zunächst noch weitere Messungen nötig sind.

III.

Mit der eben angeführten Hypothese stimmt überein, dass die Heliumkanalstrahen nach meinen Beobachtungen den von Herrn Stark entdeckten Dopplereffekt[1]) nicht oder doch nicht in der zu erwartenden Grösse zeigen. Ich konnte ihn unter Benützung eines Kirchhoffschen Spektralapparates mit vier Prismen trotz der grossen Helligkeit des Spektrums weder bei subjektiver Beobachtung noch auf Photographien (bis 15 Stunden Belichtungszeit) wahrnehmen.

Die Aufnahmen wurden mit Hilfe einer kleinen Kassette gemacht, die statt des Okulars in den Tubus des Fernrohres eingeschraubt werden konnte, und umfassten die Heliumlinien 5048 (4. Nebenserie), 5016 (2. Hauptserie), 4922 (3. Nebenserie), 4713 (2. Nebenserie). Die mitphotographierte Wasserstofflinie H β (4861) zeigte den Dopplereffekt in grosser Deutlichkeit. Eine nähere Untersuchung müsste wohl mit dem Gitter erfolgen.

[1]) Phys. Ztschr. 6, 892 (1905).

Ich möchte schliesslich noch einige Beobachtungen mitteilen, die sich auf den Dopplereffekt (in Wasserstoff) beziehen. Einmal eine einfache Verifikation der Deutung des Phänomens als Dopplereffekt durch Herrn Stark: Stellt man einen Spiegel neben dem Entladungsrohr so auf, dass — vom Spalt eines Spektrometers gesehen — im Spiegelbild der Röhre die Kanalstrahlen sich vom Spalt wegbewegen, so erhält man eine nach Rot verschobene Linie. — Weiter habe ich — auf Vorschlag von Herrn Professor Wien — um zu prüfen, ob die Erscheinung von den verschieden stark ablenkbaren Kanalstrahlen in gleicher Weise hervorgerufen wird, mit folgender Anordnung beobachtet: Das von den Kanalstrahlen durchlaufene Rohr befand sich zwischen den Polen des Ruhmkorffschen Elktromagneten, war aber an einer Stelle, an der die Strahlen schon den grössten Teil des Feldes passiert hatten, durch eine in das Rohr passende Metallscheibe geteilt, die in der Mitte und am Rande je eine Öffnung enthielt; jedes dieser Löcher konnte durch einen magnetisch bewegbaren Schieber geöffnet oder geschlossen werden. Bei Beobachtung der durch das mittlere Diaphragma in den Raum hinter demselben eingetretenen Strahlen zeigte sich beim Erregen eines starken Magnetfeldes eine ausserordentliche Schwächung der verschobenen Linie, während an der „ruhenden" keine Helligkeitsänderung wahrgenommen werden konnte. Ein Versuch, die Erscheinung photographisch durch abwechselndes Belichten durch die untere bezw. obere Spalthälfte mit bezw. ohne Magnetfeld zu erhalten, misslang, doch erscheint das angeführte — von mehreren Beobachtern bestätigte — Resultat ganz sicher[1]).

Dieses bedeutet einerseits eine Bestätigung der Anschauung von Herrn Stark, dass die positiven Ionen die Träger des den Dopplereffekt zeigenden Leuchtens sind, nicht etwa die wohl als neutral zu betrachtenden, nicht ablenkbaren Teilchen; andererseits folgt daraus, dass das Licht des nicht ablenkbaren Bündels, das heller ist als das des abgelenkten, nicht von Teilchen ausgesandt wird, deren Geschwindigkeit an die der ablenkbaren heranreichte.

1) Das seitliche Diaphragma, durch das die stark abgelenkten Strahlen allein beobachtet werden sollten, liess leider keine saubere Trennung von den anderen Strahlen erreichen.

Lebenslauf.

Ich wurde am 7. Oktober 1881 als Sohn des Kaufmanns Hans Rau und seiner Frau Charlotte, geb. Seifert, in Würzburg geboren und dort protestantisch erzogen. Nach vierjährigem Besuch der Volksschule war ich von 1891—1900 Schüler des („neuen") humanistischen Gymnasiums in Würzburg. Danach studierte ich Mathematik und Physik und zwar zunächst an der technischen Hochschule und der Universität München, dann — vom Sommer 1903 bis Sommer 1906 an der Universität in Würzburg. Im physikalischen Institut der letzteren führte ich — nach Ablegen der bayer. Lehramtsprüfungen für Mathematik und Physik weiter mit dem Studium der Physik beschäftigt — unter Leitung von Herrn Professor W. Wien die vorliegende Arbeit aus. Am 24. Juni 1906 bestand ich die mündliche Doktorprüfung. Zurzeit bin ich Assistent am physikalischen Institut der technischen Hochschule in Braunschweig.

Die Namen meiner Hochschullehrer sind:

An der technischen Hochschule in München: Anding, v. Braunmühl, Ebert, Emden, Finsterwalder, Fischer, S. Günther, Muthmann, Reber.

An der Universität in München: Döhlemann, Donle, Grätz, Zehnder.

An der Universität in Würzburg: Boll, Cantor, Harms, Henner, Külpe, Ley, Prym, Seitz, Selling, Tafel, Wien.

Ich gedenke ihrer wie meiner früheren Lehrer mit dem Gefühl herzlichsten Dankes.